

p15560-A

'482

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 1 月 2 0 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 3 6 1 3 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 3 3 6 1 3 5]

出 願 人 日 本 電 信 電 話 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

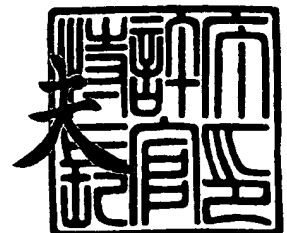
CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

BEST AVAILABLE COPY

2 0 0 3 年 8 月 2 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH146344

【提出日】 平成14年11月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 土澤 泰

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 莊司 哲史

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 山田 浩治

【特許出願人】

 【識別番号】 000004226

 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100064621

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 山川 政樹

 【電話番号】 03-3580-0961

【選任した代理人】

 【識別番号】 100067138

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 黒川 弘朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100098394

【弁理士】

【氏名又は名称】 山川 茂樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006194

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0205287

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学素子およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 シリコン基板上に形成されたアンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第 1 のコアとこの第 1 のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた第 1 の光導波路と、

前記アンダークラッド上に前記第 1 のコアの端部と一体に連結して形成され、先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部と、

前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に前記テーパ部を覆うように形成された第 2 のコアとこの第 2 のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた、前記第 1 の光導波路よりモードフィールド径が大きい第 2 の光導波路とを有し、

前記第 1 の光導波路のオーバークラッドは、前記第 2 のコアと一体に連結して形成された、前記第 2 のコアと同材料からなる第 1 層のオーバークラッドと、この第 1 層のオーバークラッドを覆うように形成された、前記第 2 のコアより屈折率が低い材料からなる第 2 層のオーバークラッドとからなることを特徴とする光学素子。

【請求項 2】 シリコン基板上に形成されたアンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第 1 のコアとこの第 1 のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた第 1 の光導波路と、

前記アンダークラッド上に前記第 1 のコアの端部と一体に連結して形成され、先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部と、

前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に前記テーパ部を覆うように形成された第 2 のコアとこの第 2 のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた、前記第 1 の光導波路よりモードフィールド径が大きい第 2 の光導波路とを有し、

前記第 1 の光導波路のオーバークラッドは、前記第 2 のコアと一体に連結して形成された、前記第 2 のコアと同材料からなることを特徴とする光学素子。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の光学素子において、

前記第2のコアの光の進行方向に対して左右対称な2つの位置に、前記第2のコアの材料が存在しない領域を有することを特徴とする光学素子。

【請求項4】 シリコン基板上に形成されたアンダークラッドの上に、第1の光導波路のシリコンからなる第1のコアと、この第1のコアの端部と一体に連結し先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部とを形成する第1のコア形成工程と、

前記アンダークラッドの上に、前記第1の光導波路よりモードフィールド径が大きい第2の光導波路の第2のコアとなるコア材料を前記第1のコアおよび前記テーパ部を覆うように形成する成膜工程と、

前記コア材料を加工して前記第2のコアを形成する第2のコア形成工程と、

前記第1のコアおよび前記第2のコアを覆うようにオーバークラッドを形成するオーバークラッド形成工程とを有し、

前記第2のコアを形成する際に、前記第1の光導波路の領域にある前記コア材料を残すことにより、前記コア材料を前記第1の光導波路の第1層のオーバークラッドとし、前記オーバークラッド形成工程で形成したオーバークラッドを第2層のオーバークラッドとすることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項5】 シリコン基板上に形成されたアンダークラッドの上に、第1の光導波路のシリコンからなる第1のコアと、この第1のコアの端部と一体に連結し先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部とを形成する第1のコア形成工程と、

前記アンダークラッドの上に、前記第1の光導波路よりモードフィールド径が大きい第2の光導波路の第2のコアとなるコア材料を前記第1のコアおよび前記テーパ部を覆うように形成する成膜工程と、

前記コア材料を加工して前記第2のコアを形成する第2のコア形成工程と、

前記第1のコアおよび前記第2のコアを覆うようにオーバークラッドを形成するオーバークラッド形成工程と、

前記第1の光導波路の領域にある前記オーバークラッドを除去するエッチング工程とを有し、

前記第2のコアを形成する際に、前記第1の光導波路の領域にある前記コア材

料を残すことにより、前記コア材料を前記第 1 の光導波路のオーバークラッドとすることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項 6】 請求項 4 又は 5 記載の光学素子の製造方法において、

前記第 2 のコア形成工程は、前記第 2 のコアの光の進行方向に対して左右対称な 2 つの領域の前記コア材料を除去することにより、前記第 2 のコアを形成することを特徴とする光学素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信に用いられる導波路型光変調器や光スイッチ等の光制御デバイス、光集積回路を構成する光平面回路型の光学素子とその製造方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

光制御デバイスの配線部材である平面導波路は、従来石英系の素材からなるものが用いられてきた。石英系導波路は、コアとクラッドの比屈折率差が小さいので、単一モード条件を満たすために断面寸法が $5 \sim 10 \mu\text{m}$ と大きくなり、光ファイバーとの結合はし易いものの、曲げ半径が $1 \sim 25 \text{mm}$ となって小さくできないため、デバイスサイズが大きくなり、高集積化に適さなかった。

【0 0 0 3】

デバイスサイズを小さくする目的から近年シリコンをコアに用いることで比屈折率を高くした光導波路の研究が活発になってきている。シリコン導波路は曲げ半径を小さくでき微小デバイスが作製可能となる。しかし、単一モード条件を満たすコアの断面寸法は $0.3 \mu\text{m}$ 程度と小さく、導波路端面と光ファイバーとをつき合わせただけでは高効率な結合を実現することはできない。

【0 0 0 4】

そこで、光ファイバーとの接続のため、シリコン細線導波路を形成した基板上に石英もしくはポリマーからなる接続導波路を設けるとともに、シリコン細線導波路の端部をテーパ状に加工したテーパ状シリコン導波路と接続導波路とをオー

バーラップさせることでモードフィールド径を効率よく変換できるスポットサイズ変換構造を実現することで光ファイバーとの接続損失の低減させる光学素子が提案されている（例えば、特許文献 1、非特許文献 1 参照）。

【0005】

図 7（a）にスポットサイズ変換構造を有する従来の光学素子の光入出力に関わる部分の平面図を示し、図 7（b）に図 7（a）の光学素子の A-A 線断面図を示す。この光学素子は、シリコン細線導波路 27 とスポットサイズ変換構造 28 と接続導波路 29 とを備えている。以下、図 7 に示した光学素子の製造方法を説明する。

【0006】

まず、バルクシリコン基板 24 と、シリコン基板 24 上に形成された厚さ $3\mu\text{m}$ 程度の熱酸化シリコンからなるアンダークラッド層 25 と、アンダークラッド層 25 上に形成された厚さ $0.3\mu\text{m}$ 程度のシリコン層とからなる SOI（Silicon On Insulator）基板を用い、リソグラフィとエッチングにより、シリコン層を加工して、シリコンコア 21 とテーパー部 22 とを形成する。続いて、熱酸化シリコンよりも屈折率の高いシリコン酸化膜系材料もしくはポリマー材料を SOI 基板上に堆積し、不要部のシリコン酸化膜系材料もしくはポリマー材料をエッチングにより除去して、スポットサイズ変換構造 28 のコア 23 および接続導波路 29 のコア 23 を形成する。最後に、シリコンコア 21 とコア 23 とを覆うようにオーバークラッド層 26 を堆積して、シリコン細線導波路 27 とスポットサイズ変換構造 28 と接続導波路 29 とを有する光学素子を作製する。

【0007】

【特許文献 1】

特開 2002-122750 号公報

【非特許文献 1】

莊司他，「SOI 基板上に形成した Si 細線光導波路の外部結合構造」，春季講演会予稿集，社団法人応用物理学会，2001 年，No. 3，30a-YK-11

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、以上のような光学素子の製造方法では、スポットサイズ変換構造 28 および接続導波路 29 のコア 23 を形成するエッチング工程において、コア 23 の材料で覆われていたシリコンコア 21 がエッチングの途中で露出することになり、シリコンコア 21 の表面がプラズマに曝されることになる。したがって、コア 23 を形成するエッチング工程では、コア 23 の材料とシリコンとのエッチング選択比が非常に高いことが求められ、エッチングが難しいという問題点があった。また、たとえエッチング選択比を無限大にできたとしても、高いエネルギーを持ったイオンにシリコン表面が叩かれることになるため、シリコンコア 21 が損傷し、光の伝搬損失に影響するという問題点もあった。

【0009】

本発明は、上記の状況に鑑みてなされたものであり、シリコン細線導波路を痛めることなく、スポットサイズ変換構造をより簡便に作製することができる光学素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0010】**【課題を解決するための手段】**

本発明の光学素子は、シリコン基板上に形成されたアンダークラッドとこのアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第 1 のコアとこの第 1 のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた第 1 の光導波路と、前記アンダークラッド上に前記第 1 のコアの端部と一体に連結して形成され、先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部と、前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に前記テーパ部を覆うように形成された第 2 のコアとこの第 2 のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた、前記第 1 の光導波路よりモードフィールド径が大きい第 2 の光導波路とを有し、前記第 1 の光導波路のオーバークラッドは、前記第 2 のコアと一体に連結して形成された、前記第 2 のコアと同材料からなる第 1 層のオーバークラッドと、この第 1 層のオーバークラッドを覆うように形成された、前記第 2 のコアより屈折率が低い材料からなる第 2 層のオーバークラッドとからなるものである。

また、本発明の光学素子は、シリコン基板上に形成されたアンダークラッドと

このアンダークラッド上に形成されたシリコンからなる第1のコアとこの第1のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた第1の光導波路と、前記アンダークラッド上に前記第1のコアの端部と一体に連結して形成され、先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部と、前記アンダークラッドとこのアンダークラッド上に前記テーパ部を覆うように形成された第2のコアとこの第2のコアを覆うように形成されたオーバークラッドとを備えた、前記第1の光導波路よりモードフィールド径が大きい第2の光導波路とを有し、前記第1の光導波路のオーバークラッドは、前記第2のコアと一体に連結して形成された、前記第2のコアと同材料からなるものである。

また、本発明の光学素子の1構成例は、前記第2のコアの光の進行方向に対して左右対称な2つの位置に、前記第2のコアが材料が存在しない領域を有するものである。

【0011】

また、本発明の光学素子の製造方法は、シリコン基板上に形成されたアンダークラッドの上に、第1の光導波路のシリコンからなる第1のコアと、この第1のコアの端部と一体に連結し先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンからなるテーパ部とを形成する第1のコア形成工程と、前記アンダークラッドの上に、前記第1の光導波路よりモードフィールド径が大きい第2の光導波路の第2のコアとなるコア材料を前記第1のコアおよび前記テーパ部を覆うように形成する成膜工程と、前記コア材料を加工して前記第2のコアを形成する第2のコア形成工程と、前記第1のコアおよび前記第2のコアを覆うようにオーバークラッドを形成するオーバークラッド形成工程とを有し、前記第2のコアを形成する際に、前記第1の光導波路の領域にある前記コア材料を残すことにより、前記コア材料を前記第1の光導波路の第1層のオーバークラッドとし、前記オーバークラッド形成工程で形成したオーバークラッドを第2層のオーバークラッドとするようにしたものである。

また、本発明の光学素子の製造方法は、シリコン基板上に形成されたアンダークラッドの上に、第1の光導波路のシリコンからなる第1のコアと、この第1のコアの端部と一体に連結し先端に向かって漸次断面積が小さくなるシリコンから

なるテーパ部とを形成する第1のコア形成工程と、前記アンダークラッドの上に、前記第1の光導波路よりモードフィールド径が大きい第2の光導波路の第2のコアとなるコア材料を前記第1のコアおよび前記テーパ部を覆うように形成する成膜工程と、前記コア材料を加工して前記第2のコアを形成する第2のコア形成工程と、前記第1のコアおよび前記第2のコアを覆うようにオーバークラッドを形成するオーバークラッド形成工程と、前記第1の光導波路の領域にある前記オーバークラッドを除去するエッチング工程とを有し、前記第2のコアを形成する際に、前記第1の光導波路の領域にある前記コア材料を残すことにより、前記コア材料を前記第1の光導波路のオーバークラッドとするようにしたものである。

また、本発明の光学素子の製造方法の1構成例において、第2のコア形成工程は、前記第2のコアの光の進行方向に対して左右対称な2つの領域の前記コア材料を除去することにより、前記第2のコアを形成するようにしたものである。

【0012】

【発明の実施の形態】

〔第1の実施の形態〕

以下、本発明にかかる光学素子およびその製造方法を図面を参照して詳細に説明する。図1(a)は本発明の第1の実施の形態となる光学素子の光入出力に関わる部分の平面図、図1(b)は図1(a)の光学素子のA-A線断面図である。図1の光学素子は、シリコン細線導波路7と、シリコン細線導波路7と光ファイバーとを高効率で接続するためのスポットサイズ変換構造8と、接続導波路9とを備えている。これらは、バルクシリコン基板4上に形成された熱酸化シリコンからなるアンダークラッド層5の上に形成される。図2(a)、図2(b)、図2(c)に図1(a)の光学素子のB-B線断面図、C-C線断面図、D-D線断面図を示す。図2(a)、図2(b)、図2(c)はそれぞれシリコン細線導波路7、スポットサイズ変換構造8、接続導波路9の断面図である。

【0013】

シリコン細線導波路7は、バルクシリコン基板4上に形成された厚さ $3\mu\text{m}$ の熱酸化シリコン（屈折率1.45）からなるアンダークラッド層5と、アンダークラッド層5上に形成された幅が $0.3\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ 厚さが $0.2\mu\text{m}\sim 0$

、 $4\ \mu\text{m}$ のシリコンコア1と、シリコンコア1を覆う屈折率1.50のポリマーからなるオーバークラッド層20と、オーバークラッド層20上に形成された屈折率1.46のポリマーからなるオーバークラッド層6とから構成される。

【0014】

スポットサイズ変換構造8は、アンダークラッド層5と、コア1の厚さを維持した状態で先端（接続導波路側）の幅が $60\ \text{nm}$ となるようにアンダークラッド層5上に形成されたシリコンからなるテーパ部2と、テーパ部2を覆うように形成された $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 角の正方形断面を有する屈折率1.50のポリマーコア3と、ポリマーコア3を覆うオーバークラッド層6とから構成される。テーパ部2の長さは $300\ \mu\text{m}$ 程度である。

【0015】

接続導波路9は、アンダークラッド層5と、アンダークラッド層5上に形成された $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 角の正方形断面を有する屈折率1.50のポリマーコア3と、ポリマーコア3を覆うオーバークラッド層6とから構成される。

【0016】

次に、本実施の形態の光学素子における光の伝搬状態を説明する。図1(a)、図1(b)に示したシリコンコア1の左端面から入射した光は、コア1を伝搬しテーパ部2の左端位置に到達する。光がテーパ部2を図1(a)の右方向に伝搬するにつれて、コア幅が徐々に狭まり光の閉じこめが弱くなりモードフィールドが周囲に広がろうとする。ところが、このときアンダークラッド層5より屈折率の高いコア3が隣接して存在するため、光パワーの分布はシリコンコア1からコア3へ徐々に移っていく。

【0017】

前記とは逆に図1(a)、図1(b)に示したコア3の右端部から光が入射した場合には、右から左へ光が進行するにつれてコア3、テーパ部2を介して、シリコンコア1へ光の分布が移動する。このように、シリコン細線導波路7に光ファイバーとの接続のためのスポットサイズ変換構造8と接続導波路9とを持たすことで、スポットサイズの小さいシリコン細線導波路7にも高い効率で光を入出力することができる。

【0018】

以上説明した光学素子では、シリコン細線導波路7のオーバークラッド層20とスポットサイズ変換構造8のポリマーコア3と接続導波路9のポリマーコア3とに同じポリマー材料を使用する。同じ材料を使うことで、シリコン細線導波路7のオーバークラッド層20とスポットサイズ変換構造8のポリマーコア3と接続導波路9のポリマーコア3とを同時に作製することが可能になり、作製が容易になる。

【0019】

また、シリコン細線導波路7のオーバークラッド層20にスポットサイズ変換構造8および接続導波路9のコア3と同じ材料を用いることにより、ポリマー材料を加工してコア3を形成する際に、シリコン細線導波路7の領域にあるポリマー材料については削らずに残せばよいので、コア3の形成中にシリコンコア1にダメージを与えることがなくなる。また、シリコンコア1の表面がプラズマに曝されることがなくなるので、コア3の材料とシリコンとのエッチング選択比を考慮する必要がなくなり、エッチングを容易にすることができる。

【0020】

なお、シリコン細線導波路7のシリコンコア1の側面および上面は、アンダークラッド層5よりも約3%高い屈折率を持つオーバークラッド層20に囲まれることになるが、屈折率3.5のシリコンとアンダークラッド層5との屈折率差およびシリコンとオーバークラッド層20との屈折率差はどちらも非常に大きいいため、シリコン細線導波路7の光の閉じこめ特性には影響はなく、曲げ損失や伝搬損失にも影響はない。

【0021】

また、本実施の形態では、シリコン細線導波路7のオーバークラッド層20とスポットサイズ変換構造8のコア3および接続導波路9のコア3となる材料に屈折率1.50のポリマーを用いたが、この屈折率は、アンダークラッド層5に用いる熱酸化シリコン(SiO_2)より高く、シリコンコア1およびテーパ部2に用いるシリコンより低ければよい。したがって、例えばドーピング等の手法によって屈折率をある程度の範囲で変えることができれば、エポキシ、ポリイミドな

どのポリマーだけでなく、酸化シリコン、窒化酸化シリコン（SiON）などの無機材料もオーバークラッド層 20 およびコア 3 の材料として用いることができる。

【0022】

[第2の実施の形態]

次に、本発明の光学素子の基本単位となる光導波路を例にとって製造方法を説明する。図3は本発明の第2の実施の形態となる光学素子の平面図であり、図1、図2と同一の構成には同一の符号を付してある。図3の領域100が第1の実施の形態で説明した光学素子に相当する部分である。

【0023】

図4、図5は図3の光学素子の製造方法を示す工程断面図である。光を透過する層にシリコンを使用する平面回路型のシリコン細線光学素子は、SOI（Silicon On Insulator）基板をスターティング基板として使用する。SOI基板は、バルクシリコン基板4と、シリコン基板4上に形成された厚さ $3\mu\text{m}$ の酸化シリコンからなるアンダークラッド層5と、アンダークラッド層5上に形成された厚さ $0.2\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ のシリコン層11とからなる。

【0024】

まず、このSOI基板上にCVD法などの成膜法を使用して、シリコン層11のエッチングハードマスクとなる酸化シリコン等からなるマスク材料12を形成した後（図4（a））、このマスク材料12上にレジストを塗布し、電子線露光法あるいは光露光法などの露光法を利用して所望のレジストパターン13を形成する（図4（b））。

【0025】

続いて、レジストパターン13をマスクにしてマスク材料12をドライエッチングしてエッチングハードマスク14を形成した後、レジストパターン13を除去する（図4（c））。そして、エッチングハードマスク14をマスクにしてシリコン層11をエッチングして、シリコンコア1およびテーパ部2を形成し、エッチングハードマスク14をフッ酸などのエッチング溶液を使用して除去する（図4（d））。

【0026】

こうして、アンダークラッド層 5 上にシリコンコア 1 およびテーパ部 2 を有するシリコン細線光学素子回路パターンが形成される。シリコン細線光学素子回路パターンの端の光入出力部にあるテーパ部 2 は、シリコンコア 1 の断面高さ（厚さ）を維持した状態で幅寸法が先端（接続導波路側）に向かって漸次細くなるように形成され、先端部の幅が 50 ～ 80 nm である。

【0027】

次に、シリコン細線光学素子回路パターンが形成されている SOI 基板上に、スポットサイズ変換構造 8 のコアおよび接続導波路 9 のコアとなる厚さ 3 μ m のシリコン酸化膜 15 を CVD 法などにより堆積する（図 4（e））。シリコン酸化膜 15 には、アンダークラッド層 5 のシリコン酸化膜より屈折率が 2 ～ 3 % 高くなるようにゲルマニウムなどがドーピングされる。

【0028】

続いて、シリコン酸化膜 15 上に光露光用レジストを塗布した後、このレジストを光露光法により加工して、シリコンコア 1 およびテーパ部 2 に重なり合う、図 3 の梨子地部の形をしたレジストパターン 16 を形成する（図 5（a））。次に、レジストパターン 16 をマスクにしてシリコン酸化膜 15 をエッチングして、シリコン細線導波路 7 のオーバークラッド層 20 とスポットサイズ変換構造 8 のコア 3 と接続導波路 9 のコア 3 を形成した後、レジストパターン 16 を除去する（図 5（b））。

【0029】

最後に、コア 3 よりも屈折率の低いシリコン酸化膜からなる厚さ 3 μ m 以上のオーバークラッド層 6 を SOI ウエハー全面に堆積する（図 5（c））。SOI ウエハーを接続導波路の部分でダイシング等により切断すれば、光ファイバーとの効率よい接続を可能とするスポットサイズ変換構造 8 および接続導波路 9 を有するシリコン細線光学素子が完成する。

【0030】

本実施の形態では、図 3 のようにコア 3 の光の進行方向（図 3 左右方向）に対して左右対称な 2 つの領域をエッチング領域 101 として、シリコン酸化膜 15

を除去すればよく、それ以外の領域はシリコン酸化膜 15 が削られずに残るようにレジストパターン 16 を設計しておく。これにより、シリコン酸化膜 15 のエッチング時にシリコンコア 1 がプラズマに曝されることがないため、シリコンコア 1 にダメージを与えることがなくなる。また、シリコン酸化膜 15 のエッチング面積を非常に小さくすることができるので、シリコン酸化膜 15 のエッチングに高い注意をはらう必要がなくなり、エッチングが容易となる。

【0031】

なお、エッチング領域 101 の最小幅は、コア 3 のサイズやアンダークラッド層 5 の厚みによって変わり、本実施の形態ではコア 3 の断面寸法を $3\ \mu\text{m}$ 角、アンダークラッド層 5 の厚さを $3\ \mu\text{m}$ としているので、エッチング領域 101 の最小幅は $3\ \mu\text{m}$ となる。その理由は、エッチング領域 101 の幅が $3\ \mu\text{m}$ より小さくなると、コア 3 とエッチング領域 101 を挟んで隣接するシリコン酸化膜 15 との間でカップリングが起こり、コア 3 の光が漏れてしまうからである。

【0032】

また、本実施の形態では、シリコン細線導波路 7 のオーバークラッド層 20 とスポットサイズ変換構造 8 のコア 3 および接続導波路 9 のコア 3 となる材料に酸化シリコンを用いたが、第 1 の実施の形態で説明したように、ポリイミド、エポキシ等のポリマー材や窒化酸化シリコンでももちろんかまわない。

【0033】

[第 3 の実施の形態]

次に、本発明の第 3 の実施の形態について説明する。図 6 (a) は本発明の第 3 の実施の形態となる光学素子の平面図、図 6 (b) は図 6 (a) の光学素子の A-A 線断面図、図 6 (c) は図 6 (a) の光学素子の B-B 線断面図であり、図 1、図 2 と同一の構成には同一の符号を付してある。

【0034】

本実施の形態では、シリコン細線導波路 7 a のオーバークラッド層を、スポットサイズ変換構造 8 のコア 3 および接続導波路 9 のコア 3 と同じ材料からなるオーバークラッド層 20 のみの単層で構成する。コア 3 は $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 角の正方形の断面形状を有するので、オーバークラッド 20 の厚みも $3\sim 5\ \mu\text{m}$ となりオーバ

ークラッドとしては十分な厚みである。

【0035】

スポットサイズ変換構造 8 のコア 3 および接続導波路 9 のコア 3 と同じ材料を用いるため、オーバークラッド層 20 の屈折率は、熱酸化シリコンからなるアンダークラッド層 5 より高いが、屈折率 3.5 のシリコンとアンダークラッド層 5 との屈折率差およびシリコンとオーバークラッド層 20 との屈折率差はどちらも非常に大きいので、シリコン細線導波路 7 の光の閉じこめ特性には影響はなく、曲げ損失や伝搬損失にも影響はない。

【0036】

本実施の形態のように、シリコン細線導波路 7 a のオーバークラッド層を単層にすると、第 1、第 2 の実施の形態のような 2 層の場合に比べてオーバークラッド層を薄くすることができる。その結果、例えば熱スイッチのようにシリコンコア 1 の上方にヒーターを設置して加熱する場合、シリコンコア 1 への熱の伝導性が良くなるため、消費電力を小さくすることができる。

【0037】

図 6 の光学素子は、第 2 の実施の形態で説明した図 5 (c) の工程の後に、スポットサイズ変換構造 8 および接続導波路 9 の領域にあるオーバークラッド層 6 をマスクして、シリコン細線導波路 7 a の領域にあるオーバークラッド層 6 をエッチングすることで、容易に作製することができる。

【0038】

【発明の効果】

本発明によれば、第 1 の光導波路の第 1 層のオーバークラッドと第 2 の光導波路の第 2 のコアとに同じ材料を用いることにより、第 1 の光導波路の第 1 層のオーバークラッドと第 2 の光導波路の第 2 のコアとを同時に作製することが可能になり、作製が容易になる。また、第 1 の光導波路の第 1 層のオーバークラッドと第 2 の光導波路の第 2 のコアとに同じ材料を用いることにより、この材料を加工して第 2 のコアを形成する際に、第 1 の光導波路の領域にある材料については削らずに残せばよいので、第 1 のコアの表面がプラズマに曝されることがなくなり、第 2 のコアの形成中に第 1 のコアにダメージを与えることがなくなる。また、

第1のコアの表面がプラズマに曝されることがなくなることから、第2のコアの材料とシリコンとのエッチング選択比を考慮する必要がなくなり、エッチングを容易にすることができる。その結果、第1の光導波路の第1のコアにダメージを与えることなく、光ファイバーと効率よく接続するためのスポットサイズ変換構造および接続導波路をシリコン細線導波路と同時に光入出力部に容易に形成することができる。

【0039】

また、第1の光導波路のオーバークラッドを、第2の光導波路の第2のコアと一体に連結し、第2のコアと同材料とすることにより、第1の光導波路のオーバークラッドを薄くすることができる。その結果、例えば熱スイッチのように第1のコアの上方にヒーターを設置して加熱する場合、第1のコアへの熱の伝導性が良くなるため、消費電力を小さくすることができる。

【0040】

また、第2のコアの光の進行方向に対して左右対称な2つの領域のコア材料を除去して、第2のコアを形成することにより、コア材料のエッチング面積を非常に小さくすることができるので、コア材料のエッチングに高い注意をはらう必要がなくなり、エッチングが容易となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態となる光学素子の光入出力に関わる部分の平面図および断面図である。

【図2】 図1の光学素子のシリコン細線導波路、スポットサイズ変換構造および接続導波路の断面図である。

【図3】 本発明の第2の実施の形態となる光学素子の平面図である。

【図4】 図3の光学素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図5】 図3の光学素子の製造方法を示す工程断面図である。

【図6】 本発明の第3の実施の形態となる光学素子の平面図および断面図である。

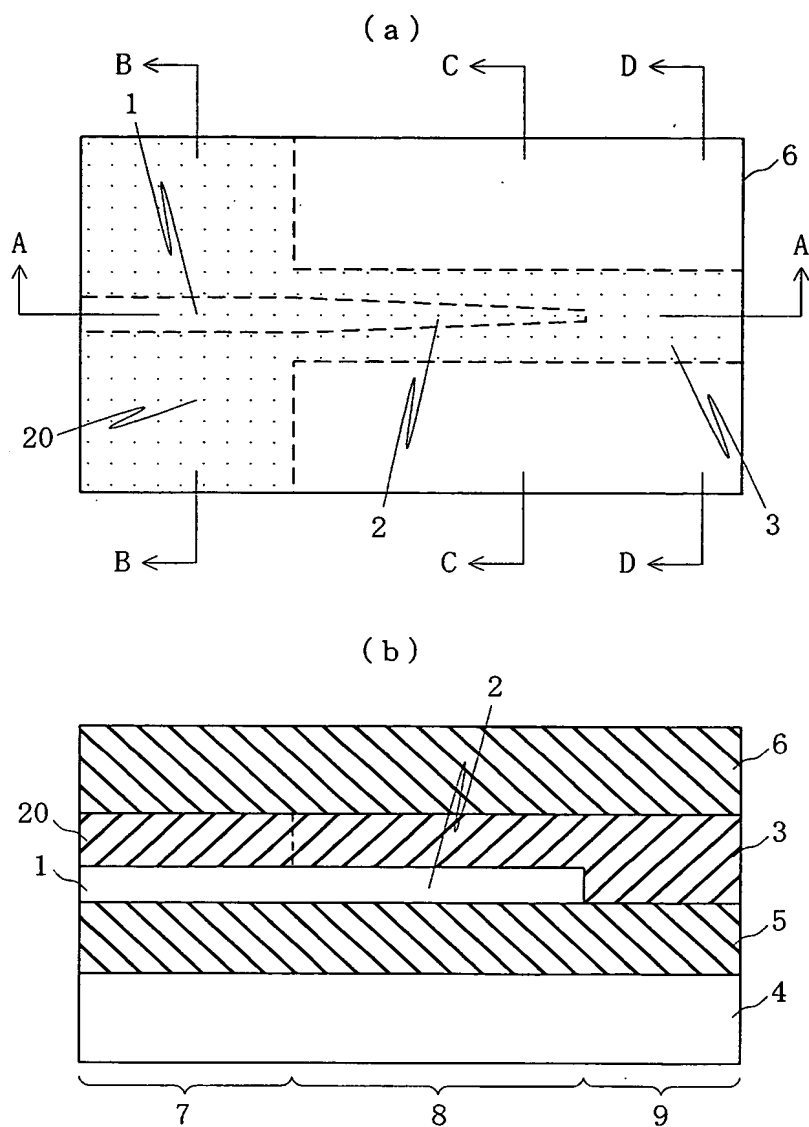
【図7】 従来の光学素子の光入出力に関わる部分の平面図および断面図である。

【符号の説明】

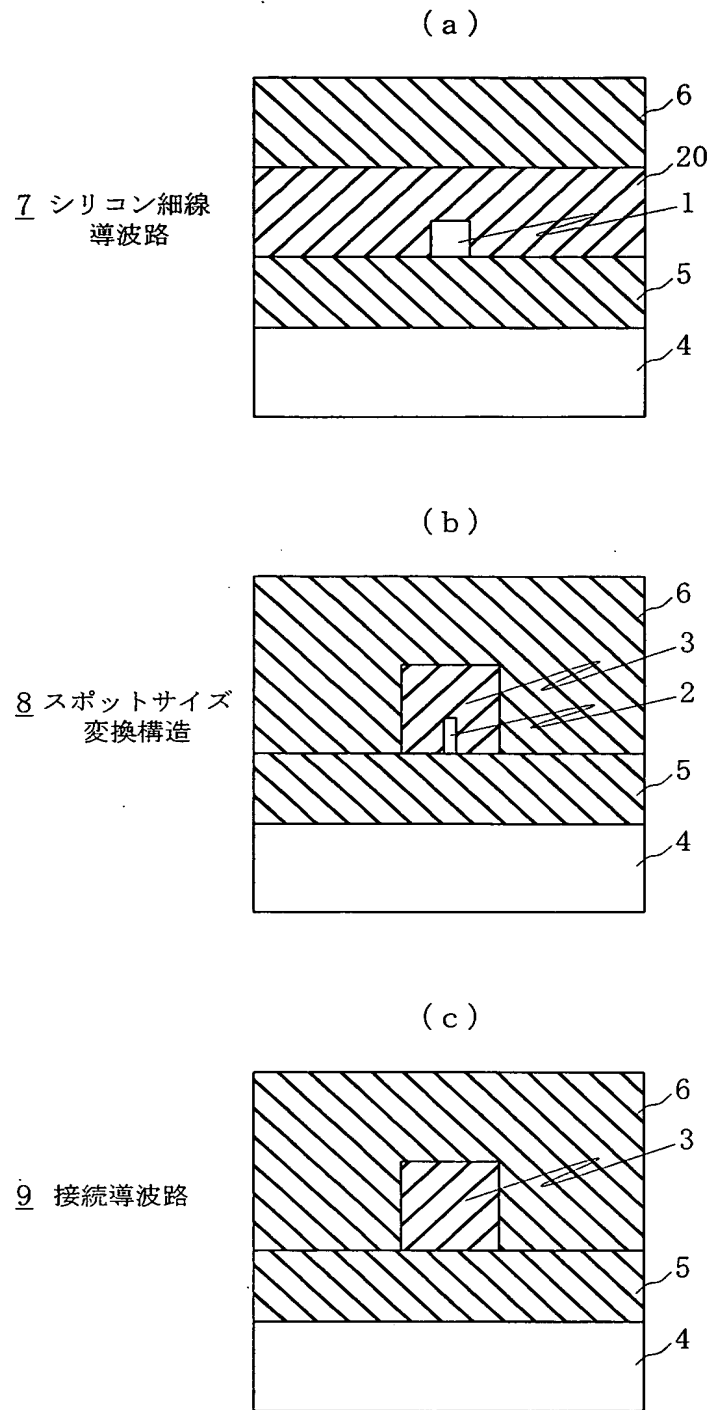
1…シリコンコア、2…テーパ部、3…コア、4…バルクシリコン基板、5…アンダークラッド層、6…オーバークラッド層、7…シリコン細線導波路、8…スポットサイズ変換構造、9…接続導波路、11…シリコン層、12…マスク材料、13、16…レジストパターン、14…エッチングハードマスク、15…シリコン酸化膜、20…オーバークラッド層。

【書類名】 図面

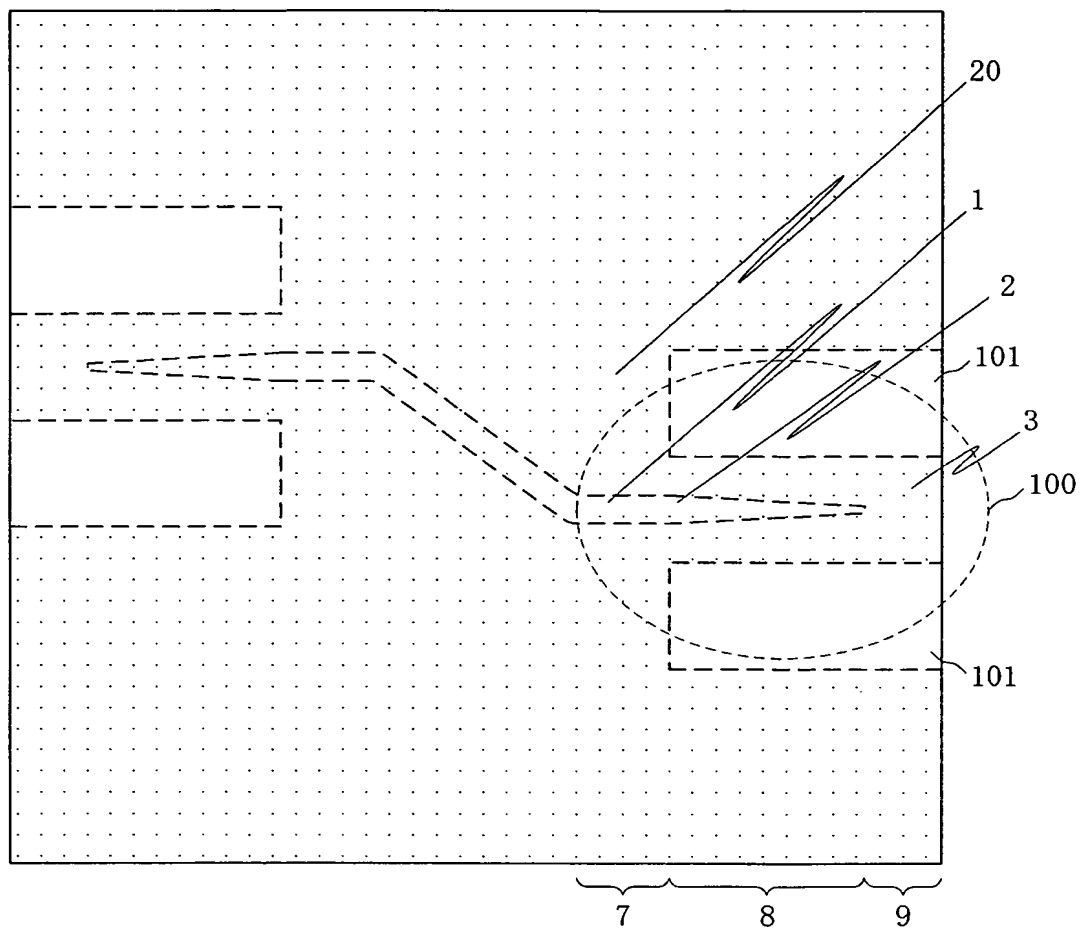
【図 1】



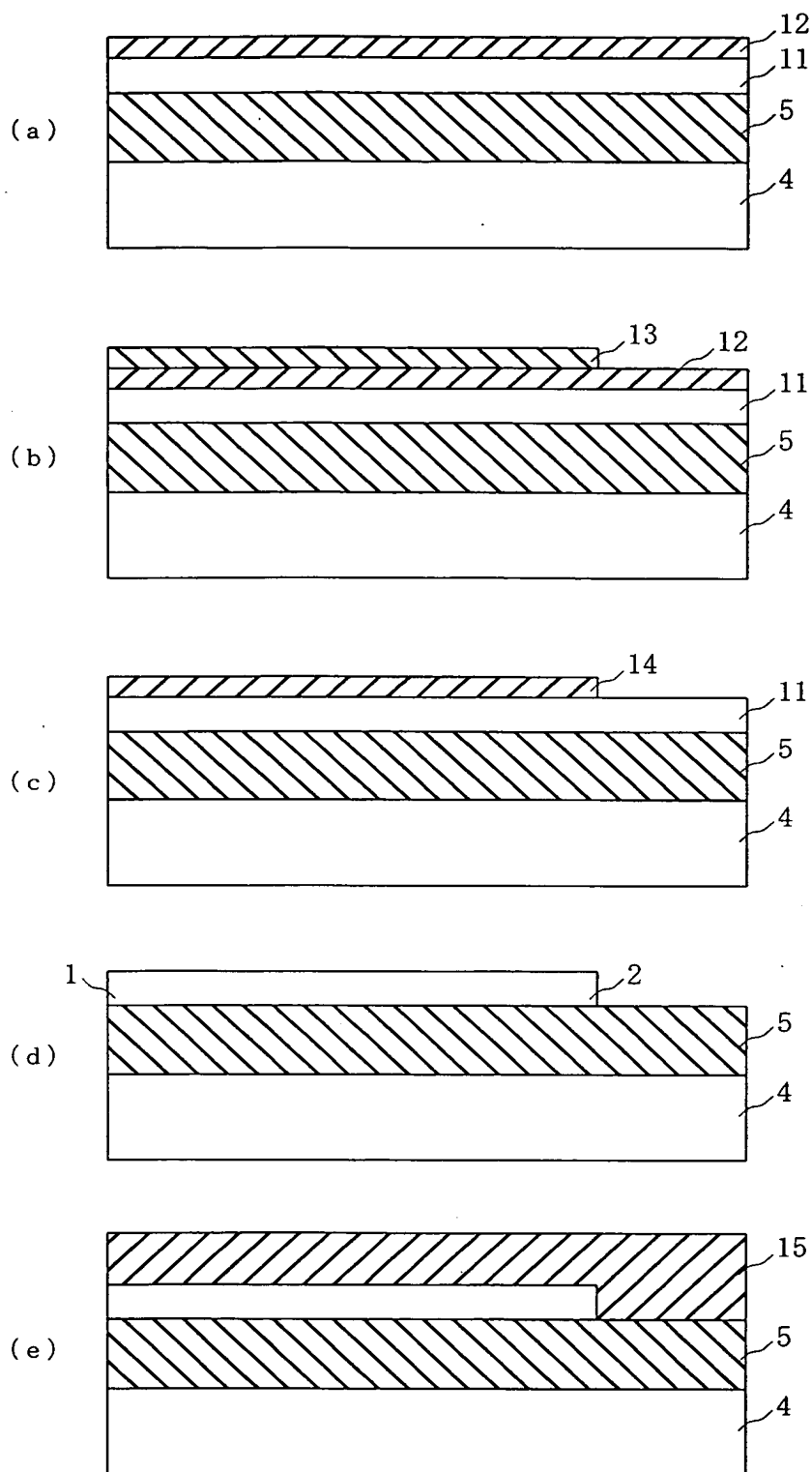
【図 2】



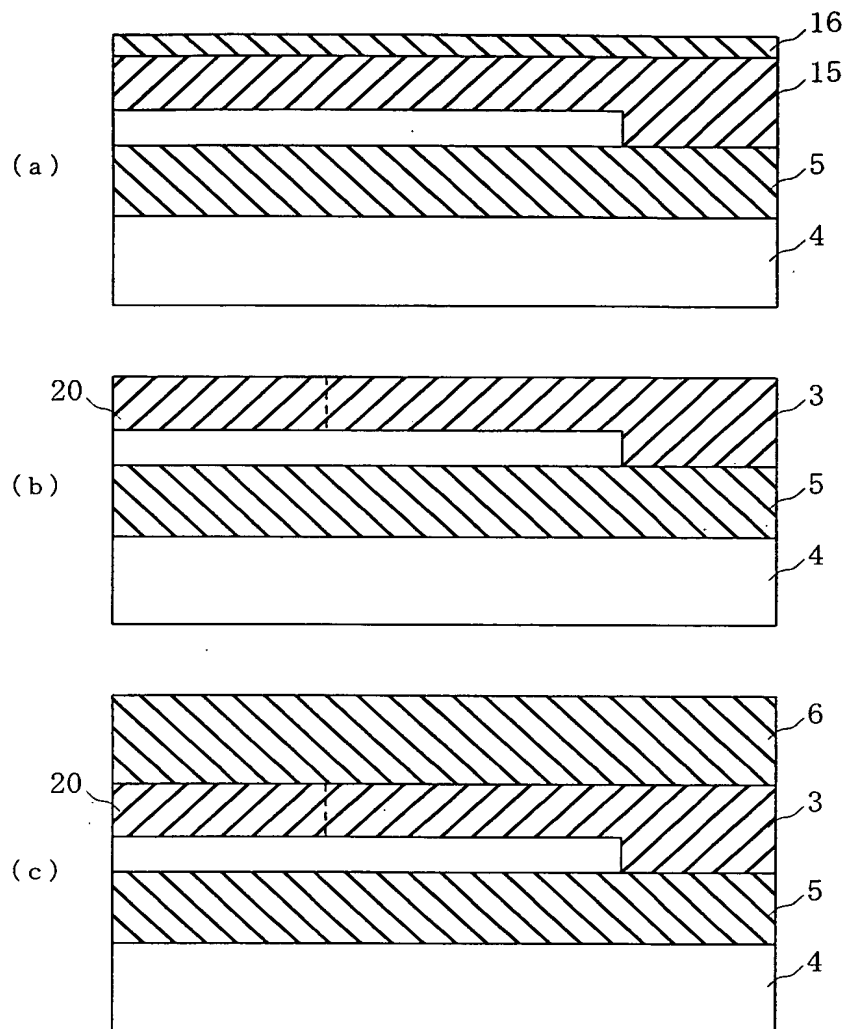
【図 3】



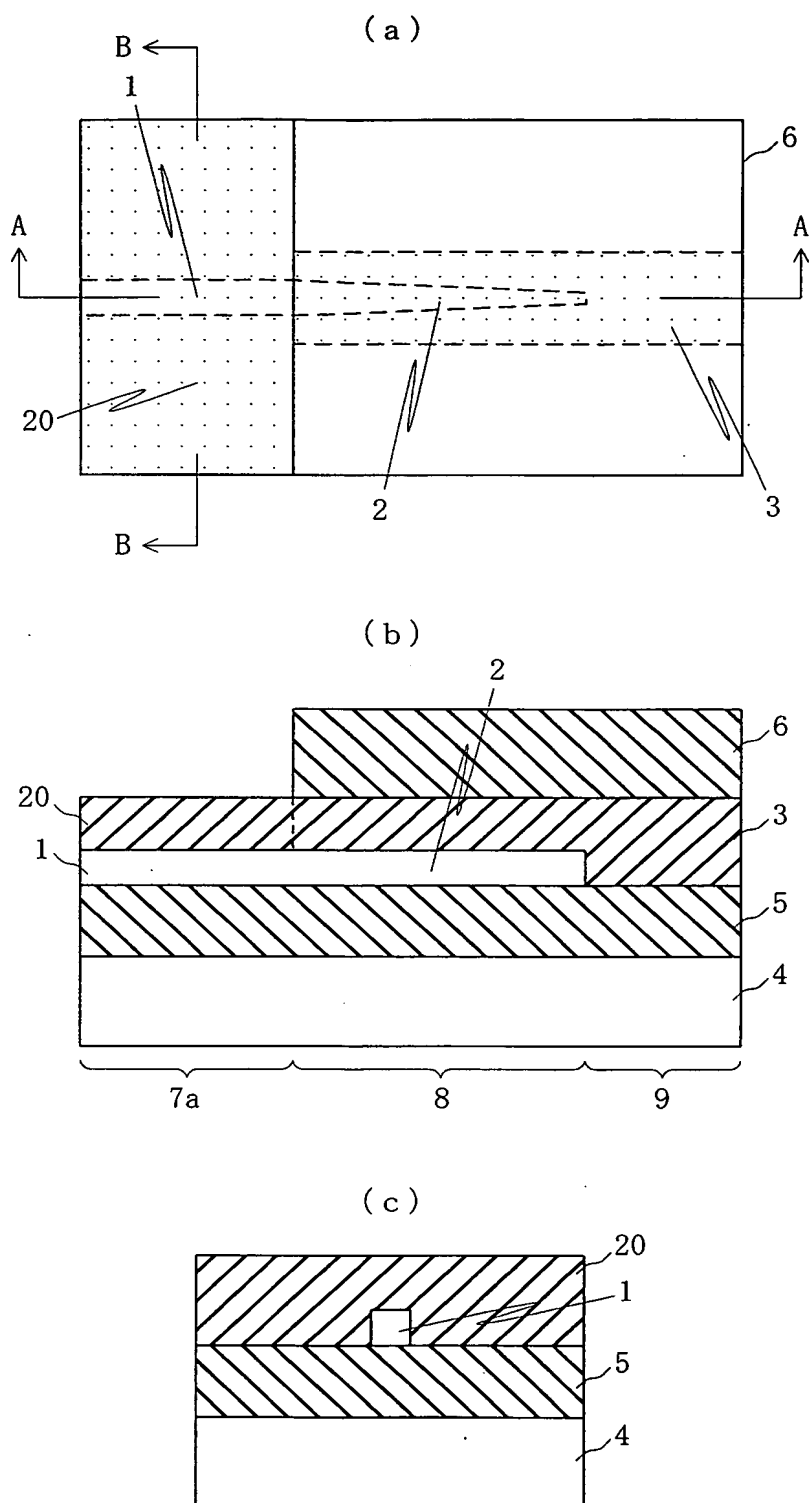
【図 4】



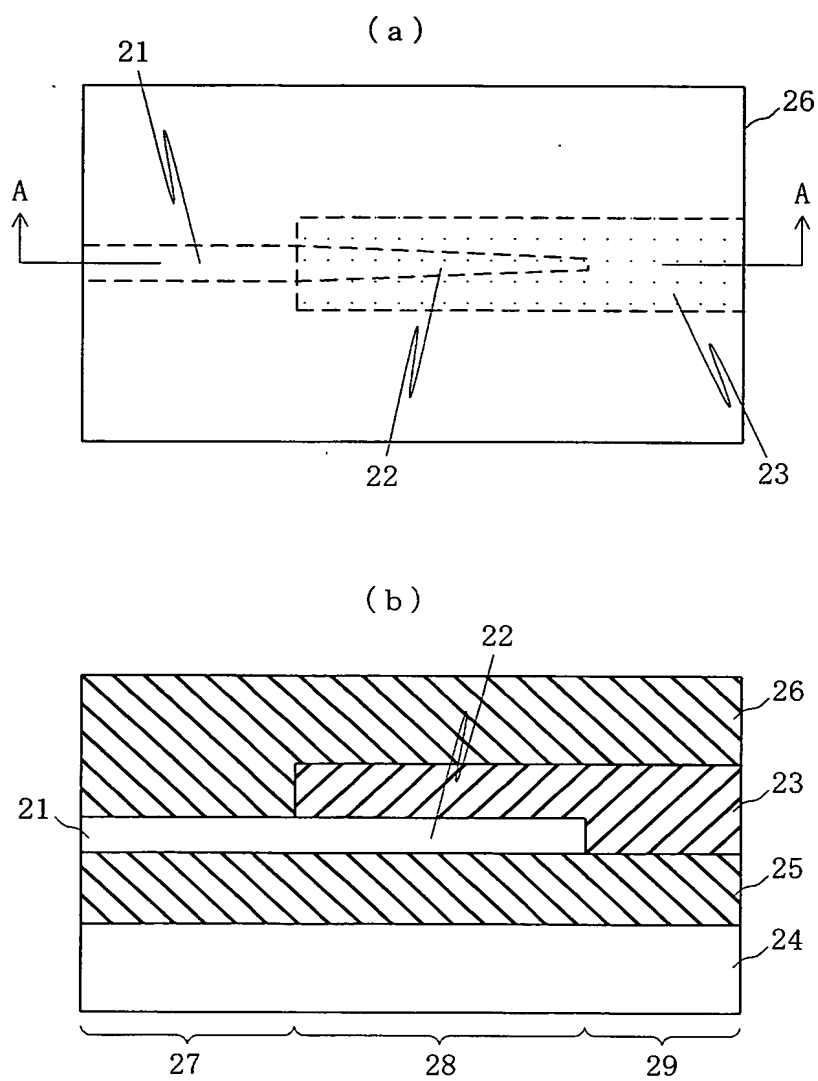
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 シリコン細線導波路を痛めることなく、スポットサイズ変換構造をより簡便に作製する。

【解決手段】 光学素子は、シリコン細線導波路 7 とスポットサイズ変換構造 8 と接続導波路 9 とから構成される。シリコン細線導波路 7 のオーバークラッド層 2 0 とスポットサイズ変換構造 8 および接続導波路 9 のコア 3 とに同じ材料を用いることにより、オーバークラッド層 2 0 とコア 3 とを同時に作製する。コア 3 の作製の際には、コア 3 の光の進行方向に対して左右対称な 2 つの領域をエッチング領域として、コア 3 の材料を除去し、それ以外の領域はコア 3 の材料が削られずに残るようにする。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 3 6 1 3 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社